

中性子核データ評価の知識工学的支援に関する研究

| | |
|-----|---|
| 著者 | 岩崎 信 |
| 号 | 1516 |
| 発行年 | 1994 |
| URL | http://hdl.handle.net/10097/10323 |

| | |
|-------------|--|
| 氏 名 | 岩 崎 信 |
| 授 与 学 位 | 博 士 (工 学) |
| 学位授与年月日 | 平成 6 年 7 月 13 日 |
| 学位授与の根拠法規 | 学位規則第 4 条第 2 項 |
| 最 終 学 歴 | 昭和 44 年 3 月 東北大学大学院理学研究科原子核理学 専攻修士課程 修了 |
| 学 位 論 文 題 目 | 中性子核データ評価の知識工学的支援に関する研究 |
| 論 文 審 査 委 員 | 東北大学教授 北村 正晴 東北大学教授 平川 直弘 東北大学教授 古田島久哉 東北大学教授 中村 尚司 |

論 文 内 容 要 旨

原子力分野、およびその応用分野において重要な中性子核データの評価作業への知識工学的手法による支援に関する研究をまとめたものである。原子炉や加速器などの核設計においては、中性子に関する断面積実験の数値データを、そのまま設計計算に用いることは出来ない。必要な定数は実験データを基に評価された断面積値、すなわち、核データライブラリ収納値から作成する。そのライブラリは、実験データの質・量的向上や、応用分野の要求に応じて、たびたび改定が必要である。しかし、従来の評価手法では、今後ますます増大する要求に的確に応じられないことが明らかになってきた。

従来の手法は、評価者が様々の核反応理論モデルに基づく断面積計算コードや処理プログラムを駆使してはいるものの、実験データに経験的にあてはめを行う、いわば手作業によるものであった。しかし、従来法では、目標もはっきりせず、方法や判断が個人に強く依存し、非能率であり、得られた結果もそろわなかった。この原因は、評価法が定式化されておらず、勘に頼った方法であった事にある。本研究は、この問題を解決すべく、従来評価者が行ってきた知識処理の幾つかを計算機で支援する事、データ・ベースを活用する事、従来からの資源を生かした統合的な評価環境を作る事を提案し、その実現を目指したものである。評価作業での評価者の知識処理は膨大であり、どの部分を現在の知識処理技術で対応するかが鍵となる。

第1章 序 論

序論では、本研究の背景、目的、経過と論文の構成について述べている。

まず、原子力分野におけるもっとも基礎的かつ重要な物理量であるところの中性子核データの評価の重要性を述べた。最近リリースされた日本の評価済み核データライブラリ第3版は現時点で世界的に高い評価を得ているものの、その評価過程には問題点があり、残された課題もある。

筆者は具体的に、

- (1) 評価者の個人的なやり方で実施されていた、
- (2) 評価の目標が設定されないので終了の客観的達成判断がない、
- (3) 理論モデルパラメータの修正はほとんどが勘と経験による、
- (4) あてはめ対象の実験データに関する検討が不十分、
- (5) 誤差・共分散の評価ができなかった、
- (6) 統一的な枠組みがなく、過去の評価の経験を生かすことが困難、

などの事項を指摘した。

今後の核データに関する要求は、多くの応用分野において、核種の種類、エネルギー範囲、入射粒子の種類、断面積の種類などの拡張や、共分散の整備など多岐にわたって拡大しつつある。上記の問題点を抱え、かつ人的、資金的に縮小傾向にある現状の核データ評価作業環境では、これへの対応は不可能である。そこで、評価環境の知識工学的技術革新が不可欠であると考え、本研究の目的として、理論モデルを主体とした評価作業について作業を定式化し、最適な知識表現を考察し、具体化し、計算機上に評価支援のシステムとして構築し、評価を実施することによりその有効性を実証する事とした。

第2章 評価作業の解析と認識モデル

まず、理論モデルを主体とする評価作業の典型的で望ましいシナリオを設定して、そのタスク分析を行った。その結果、核データ評価では、計算コード、データベースそして知識処理がその3要素であること、評価作業は、目標を掲げ、それを実現するための様々のサブタスクを次々にこなしていく過程であると捉えた。そして、その作業中には評価者は関連する概念や事物を頭に浮かべていること、それらはお互いに絡み合っていて、表象のネットワークで表現できるという評価者の認識モデルを示した。

上記のシナリオを、さらに本質を失わない程度に簡易化し、本研究で扱う支援の対象とした。つまり、評価の目標を応用データ・ベースを参考にして設定する事、あてはめの対象となる実験データの選別、代表値決定、パラメータの初期値の客観的な選定、一般化最小2乗法によるパラメータの調整、目標を達成出来ない場合の困難打開過程等を支援の対象とした。

この過程を計算機上に実現するためには、先の認識モデルを比較的素直に計算機内に表現できるオブジェクト指向の手法が適していると考えた。その実現の為、ルールとクラス・オブジェクトの二つの知識表現法を導入した。オブジェクトで表現された世界が、ルールの働きによってその状態が遷移し、目標状態に至ることで評価作業が記述できるとした。

第3章 オブジェクト指向モデルによる評価過程知識表現

本研究で実際に用いるオブジェクト指向環境：Nexpert Object について、ルールとオブジェクトのメソッドとしてのメタ・スロット機能について述べた。評価のシナリオとその表象モデルについてオブジェクト分析を行い、主要なオブジェクトを抽出した。それらは、基本環境パラメータ、評価目標と評価目標修正、核種、核反応と断面積、光学ポテンシャルの選択と検証、計算コードパラメータ、断面積比較、モデルパラメータ調整支援、統合判断支援ルールと問題打開支援関連などの各オブジェクト群である。上記オブジェクトの準備や監視のためのオブジェクトの状態が総てYESとなる過程によって、評価作業が進行する。各オブジェクトでの評価者入力、データ・ベースアクセス、計算コード入力等は、総てメタ・スロット機能で実現した。

第4章 データベースの整備と活用に関する考察

システムとして、有効に稼働するためには、知識処理のほかに、多種多様なデータベースが必要であることを指摘した。具体的には、従来からある実験データベース、核構造データベースのみならず、さまざまなモデルパラメータ、核計算コード、(特に最新の)文献、核データ要求、重要反応リスト、評価済みデータファイルなどに関するものである。本研究の評価システムのため必要な幾つかのデータ・ベースを構築した。

第5章 実験データの代表値算出法に関する考察

本章において実験データの選択法と実験データ代表値(実験データベクトル)決定に関して、新しい方法を提案した。実験データの選択法については、一つは、実験に付随した諸情報の活用がある程度有効である事を指摘した。もう一つはパターン情報処理の考え方を参考にして、実験データのクラスタリング法を提案した。これらの二つの方法を組み合わせることによって、特に系統的に異なったふるまいをするデータ群を評価者の介入を少なくして分類・除去できる実用的な実験データ選択が可能となった。

さらに、理論計算のあてはめ対象となる実験データ代表値(実験データベクトル)決定に関して、実験データの共分散を考慮した3次Bスプライン関数フィッティング法を提案した。

第6章 コバルトの中性子核反応断面積評価への適用

構築したシステムで、コバルトを例にとり、応用上重要な放射化断面積に注目し、評価をしきいエネルギーから20MeVまでの範囲で行った。評価目標の設定(=実験と計算データベクトルの一致度)、あてはめ対象断面積設定、実験値の収集・分類と実験データベクトル作成、中性子ポテンシャル選択、荷電粒子ポテンシャル選択、モデルパラメータ初期値選択、断面積比較と総合判断、パラメータ調整過程、荷電粒子ポテンシャル変更、最終パラメータ調整と総合判断について具体的な説明を与えた。あてはめ対象は、 $(n, 2n)$ 、 (n, p) 、 (n, α) 反応の各断面積と14MeVでの中性子、陽子の放出エネルギースペクトルとし、目標値を設定したが、最終的には陽子スペクトル以外は良く目標を達成した。経験によらないパラメータのあてはめの過程や、困難打開の知識ベースが特に

有効に機能した。

また、50MeV までの拡張計算を、コバルトの高エネルギードシメトリ反応に注目して評価計算を実施し、良好な結果を得た。

第7章 まとめと結論

本研究のまとめと結論と今後の展望をのべた。本論文においては、

- (1) 今後の様々の応用面からの要求に的確に答えるためには、評価作業に対しては、従来のアルゴリズム主体の評価作業環境ではなく、知識工学的なアプローチによる知識処理支援が不可欠である、
- (2) その枠組みとしては、従来の資源を最大限に生かせるオブジェクト指向モデルに基づく知識表現が、システムの開発者や利用者の理解の容易さと高いモジュール性の点から、開発や保守の面でも有効である、
- (3) 支援の枠組みの構築過程を通して、個人に依存していた評価法について初めて定式化がなされ、客観的な目標のもとに評価を行うことと、評価過程が追加可能となり以前の評価知識を生かす事ができる、
- (4) 一般化最小2乗法による客観的モデルパラメータ調整法がシステムに自然に組み込まれ、懸案であった共分散評価も同時に実現できた、
- (5) 当てはめの対象となる実験データの選択や、その代表値の決定においても新しく有効な手法を提案できた、

と結論した。以上により、初めて知識工学を応用した核データ評価作業支援システム構築のための十分な基礎づけが得られ、本研究の成果は、今後の評価手法の発展と、評価核データの信頼性の向上に貢献するものと確信する。オブジェクト指向表現、システムの各オブジェクトモデル、データ・ベースの3項目に関してその詳細を付録に示した。

審 査 結 果 の 要 旨

原子炉や加速器などの施設の設計や解析の基礎となる中性子核断面積を過去の様々な実験データに基づき可能な限り信頼性高く推定する核データ評価作業は、これまで作業者の経験や主観的判断に大きく依存して実施されていた。本研究はこの作業の客観性と効率の向上を目的とし、評価作業シナリオの詳細なタスク分析に基づいて、作業を評価関連の事物や作業タスクのオブジェクトの集まりとして記述するオブジェクト指向モデルによる枠組みを提唱し、その有用性を実際の評価事例を通じ検証した成果をまとめたものである。全体は7章と付録より成る。

第1章は、序論である。第2章では、核理論モデルを主体とした評価法について、典型的な作業シナリオを設定した。このシナリオは、これまでの評価の文献的考察、並びに熟練評価者との討論を基に作られたもので、従来の作業形態の問題点をふまえて、望ましい評価作業内容が規定されている。これにより従来の経験に依拠した曖昧な評価作業が初めて定型的にモデル化された。

特に、評価目標の導入、あてはめ対象断面積の吟味と代表値決定、一般化最小自乗法によるモデルパラメータ調整法の導入、あてはめ不成功の時の対処の想定などは独自の提案であり、評価結果の客観性を高める上で重要な学問的貢献となっている。

次にこのシナリオに沿って行われる作業のタスク分析を行い、その時の作業者の認識モデルを構成している。そのモデルとして理論コード群、データベース群との評価者の知識処理群の3要素のネットワークが成り立っているとしている。そして、このモデルを計算機への実装するための表現としてはオブジェクト指向表現が適しているとして述べている。

第3章では、上記評価者の認識モデルを、Nexpert Object というルールとオブジェクト・クラスの二つの知識表現を併用できるオブジェクト指向環境を採用し、そのもとで具体的に実現させている。これにより、コードやデータベースが適切に組み込まれ、多数のオブジェクトの状態の推移によって作業シナリオが進行する事が示されている。

第4章では、あてはめ対象作業シナリオにおいて有用な、元素応用データベース、モデルパラメータ・データベースなどの様々のデータベースに関する考察と、それらの構築に関して記述されている。

第5章では、あてはめ対象断面積の吟味と代表値決定の重要性に鑑み、より詳細な考察が行われている。従来ほとんど取り上げられなかった理論モデル計算のあてはめ対象である多数の実験データ群の吟味や分類について、実験誤差を考慮した類似度を基準にした断面積パターン分類手法と言う独自の方法を開発し、その有効性を明らかにしている。さらに吟味された実験値を当てはめ対象としてそのまま用いることなく、個別理論モデルに依存しないスプライン関数を実験値にあてはめて用いることを提案している。これにより評価目標設定が明確化されている。

第6章は、構築したシステムによりコバルトの原子核 (^{59}Co) を例にとって、その断面積の評価計算を実施した結果をまとめたものである。提案のシナリオに沿って目標設定から評価終了までの作業過程とその結果が明瞭に示されており、提案の方法およびシステム全体が有効に機能する事が実証されている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、核データ評価作業を分析して初めてそのモデル化を行った事、さらに客観性を高めるための種々の有効な方策を提案し、かつそれらをオブジェクト指向環境のなかでシステムを実現し、実例計算によりその有効性を実証したと言う点で価値がある。この成果は、今後の原子核工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。